

Koordinasi Rele Jarak Sebagai Pengaman Utama Dengan Rele Arus Lebih Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV Balongbendo - 150 kV Sekarputih

Ilham Ahmad Fauzi¹; Hasna Satya Dini²

^{1, 2} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN, Jakarta Barat, 11750, Indonesia

¹ ilham1711251itpln.ac.id

² hasna@itpln.ac.id

ABSTRACT

The transmission system plays an important role in maintaining the continuity of the distribution of electrical energy from one area to another. Disturbances in the transmission system are things that may occur, thus protection is needed to prevent widespread interference and cause more severe damage. The transmission system that connects GI Balongbendo to GI Sekarputih acts as the main line (backbone) in the transmission area of Jawa Timur. It requires a reliable protection system to maintain continuity of electrical energy distribution. In this paper, a protection system is designed for the Balongbendo-Sekarputih line using a combination of distance relay as main protection and overcurrent relay as backup protection. The distance relay works based on fault impedance with 3 zones of protection area. For backup protection, overcurrent relays are used to work based on the magnitude of the fault current. 3-phase faults were simulated in the line to test the selectivity and performance of the relay using Disgient Power Factory 15.1. From the simulation results, the distance relay at the Balongbendo GI will trip at 0,02,0,02, and 0,42 seconds for 3-phase faults at 15%, 50% and 85% from GI Balongbendo. While the overcurrent relay will trip at 0,88,1,05 and 1,30 seconds. For the simulation results, the distance relay at the Sekarputih Substation will trip at 0,42,0,02, and 0,02 seconds. While the overcurrent relay will trip at 1,46,1,07 and 0,88 seconds.

Keyword: Transmission, Protection, Distance Relay, Overcurrent Relay

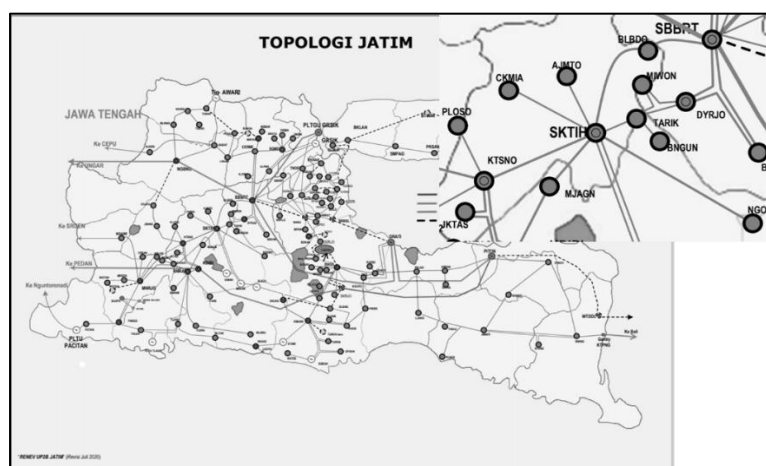
ABSTRAK

Sistem transmisi berperan penting dalam menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik dari suatu wilayah ke wilayah yang lain. Gangguan pada sistem transmisi, merupakan hal yang mungkin terjadi sehingga diperlukan adanya proteksi yang mencegah gangguan meluas dan menyebabkan kerusakan yang lebih parah. Sistem transmisi yang menghubungkan GI Balongbendo ke GI Sekarputih merupakan saluran yang berperan sebagai jalur utama (backbone) pada area Jawa Timur. Sehingga pada saluran tersebut diperlukan sistem proteksi yang handal demi menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik. Dalam paper ini, dilakukan perancangan sistem proteksi pada saluran Balongbendo-Sekarputih menggunakan kombinasi rele jarak sebagai proteksi utama dan rele arus lebih sebagai proteksi cadangan. Rele jarak bekerja berdasarkan impedansi gangguan dengan 3 zona area proteksi. Untuk proteksi cadangan digunakan rele arus lebih yang bekerja berdasarkan besarnya arus gangguan. Gangguan 3 fasa disimulasikan terjadi pada saluran untuk menguji selektifitas dan kinerja rele tersebut menggunakan Disgient Power Factory 15.1. Dari hasil simulasi didapatkan rele jarak pada GI Balongbendo akan trip pada detik ke 0,02,0,02, dan 0,42 untuk gangguan 3 fasa pada jarak 15%,50% dan 85% dari GI Balongbendo. Sedangkan rele arus lebih akan trip pada detik ke 0,88,1,05 dan 1,30. Sedangkan pada GI Sekarputih, rele akan trip pada detik ke 0,42,0,02, dan 0,02. Sedangkan rele arus lebih akan trip pada detik ke 1,46,1,07 dan 0,88.

Kata kunci: Transmisi, Proteksi, Rele jarak, Rele arus lebih

1. PENDAHULUAN

Sistem transmisi tenaga listrik pada jalur GI Balongbendo ke arah GI Sekarputih merupakan salah satu jalur penting atau utama (*backbone*) pada GI Balongbendo ke GI Sekarputih seperti terlihat pada gambar 1. Gangguan pada saluran transmisi tersebut dapat menyebabkan padam pada 651,48 MW beban yang terhubung dengan GI Sekarputih. Gangguan yang sering terjadi pada saluran GI Balongbendo ke GI Sekarputih adalah gangguan fasa-fasa. Hubung singkat merupakan sebuah kondisi yang muncul karena terdapat gangguan impedansi dengan nilai mendekati nol atau relatif rendah baik secara kebetulan ataupun disengaja antara dua penghantar aktif dengan potensial yang berbeda sehingga menimbulkan arus listrik yang besar[1]. Oleh karena itu dibutuhkan sebuah sistem proteksi yang dapat meminimalisir kerusakan akibat dari gangguan.



Gambar 1. Jalur Transmisi Jawa Timur

Dalam merancang sistem proteksi yang andal, diperlukan ketepatan dalam pemilihan dan pengaturan parameter dari peralatan proteksi[2][3][4]. Peralatan proteksi yang umum digunakan dalam mengisolir gangguan hubung singkat adalah rele jarak (*Distance Relay*) dan rele arus lebih (*Over Current Relay*) (OCR). Rele jarak adalah rele yang bekerja berdasarkan pengukuran dari impedansi saluran transmisi (penghantar). Impedansi saluran yang dideteksi oleh rele merupakan hasil bagi tegangan dan arus pada sirkuit [5][6]. Pada saluran sistem proteksi rele jarak pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV (SUTT 150 kV) dikelompokkan menjadi 3 zona, diantaranya zona 1, zona 2, dan zona 3. [7][8]. Untuk proteksi saluran zona 1 sebesar 80% dari GI Balongbendo dan GI Sekarputih, zona 2 sebagai proteksi cadangan dari zona 1 yang mencakup 80% hingga 120% saluran GI Balongbendo dan GI Sekarputih, dan zona 3 sebagai proteksi zona 3 yang di *setting* sebesar 120% hingga 220% saluran dari GI Balongbendo dan GI Sekarputih. Sedangkan rele arus lebih merupakan jenis rele yang bekerja berdasarkan besarnya arus yang masuk. Rele arus lebih akan bekerja apabila besarnya arus yang masuk melebihi batas masukan yang diatur (I_p) akibat besarnya arus gangguan (I_f) [5].

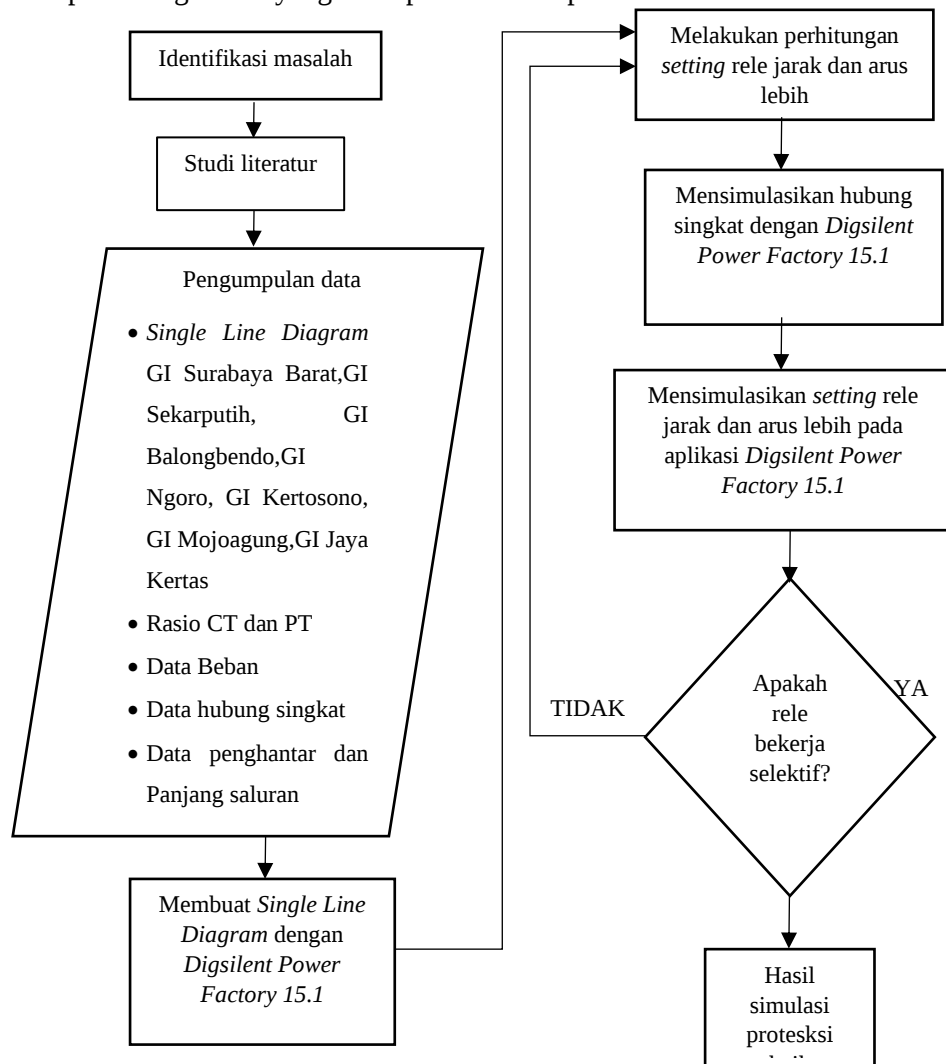
Tingkat selektivitas rele jarak dipengaruhi oleh beberapa komponen seperti transformator arus, transformator tegangan dan jenis rele [9]. Standar *IEEE std C37.113.2015 IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines* dapat digunakan sebagai acuan agar kedua rele tidak mengalami *overlapping*. Kemudian penyetelan rele jarak dan arus lebih dapat disimulasikan menggunakan software *DIgSILENT 14.1* untuk melihat jangkauan proteksi rele [10].

Pada penelitian ini akan dibahas Koordinasi Rele Jarak Sebagai Pengaman Utama Dengan Rele Arus Lebih Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 KV Balongbendo - 150 KV Sekarputih.

Hasil perancangan tersebut akan disimulasikan pada 15%, 50% dan 85% saluran GI Balongbendo - GI Sekarputih dengan menggunakan *software DigSilent Power Factory 15.1* untuk melihat selektifitas dan ketepatan kinerja setiap rele. Kedua sistem pengamanan diatas membutuhkan transformator arus (CT) dan transformator tegangan (VT)[11][12][13].

2. METODE PENELITIAN

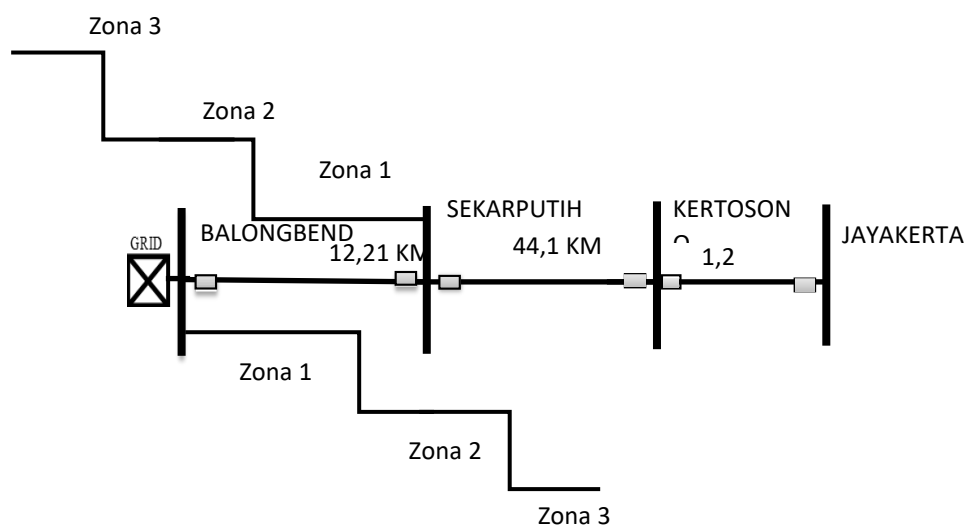
Secara garis besar langkah penelitian ini terangkum dalam gambar 2. Langkah pertama yang dilakukan adalah pengumpulan data untuk pembentukan *single line diagram*. Kemudian melakukan pengaturan rele jarak dan rele arus lebih. Langkah terakhir adalah simulasi menggunakan untuk melihat apakah perancangan rele yang diterapkan sudah tepat atau tidak.



Gambar 2. Flowchart Penelitian

2.1. Pengaturan rele jarak

Untuk melakukan *setting* rele jarak, ada beberapa hal yang harus diperhitungkan, yaitu [14][15][8]:



Gambar 3. Single Line Diagram

- Menentukan Zona-1

Zona-1 rele jarak bekerja sebagai proteksi utama mencakup 80% saluran dari GI Balongbendo maupun GI Sekarputih. Rele jarak hanya melindungi 80% dari panjang saluran karena relai jarak memperhitungkan faktor kesalahan pada PT, CT, dan peralatan proteksi yang lainnya. Panjang saluran yang diproteksi tersebut waktu kerja rele nya *instantaneous* [14]. Persamaan yang digunakan untuk menghitung setting rele pada zona-1 adalah:

$$Z_1 = 0.8 \times Z_{L1} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

Z_1 = Impedansi zona-1 (Ω)

Z_{L1} = Impedansi saluran yang dilindungi (Ω)

- Menentukan Zona-2

Zona-2 rele jarak mencakup 80% hingga 120% saluran dari GI Balongbendo dan GI sekarputih yang berfungsi sebagai pengaman cadangan zona 1. Untuk melakukan *setting* zona-2 terdapat beberapa perhitungan yang harus diperhatikan [14].

Persamaan 2 Menentukan Zona 2

$$Z_{2min} = 1.2Z_{L1} \dots \dots \dots (2)$$

$$Z_{2max} = 0.8 \times (Z_{L1} + ((0.5Z_{L2}) \times K) \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

Z_{2Min} = Impedansi zona -2 (Ω)

Z_{2Maks} = Impedansi zona -2 (Ω)

Z_{L2} = Impedansi saluran selanjutnya yang terpendek (Ω)

K = Faktor *Infeed* ($K = 1$ s.d 2)

Jika pada saluran tersebut memiliki beberapa percabangan ada beberapa aturan yang harus diperhatikan [14], yaitu:

- Untuk keadaan $Z_{2max} > Z_{2min}$, *setting* Zona-2 yang digunakan adalah Z_{2max} dengan waktu tunda (t_2) sebesar 0,4 S.
- Untuk keadaan dimana saluran yang di proteksi lebih panjang dibandingkan saluran seksi selanjutnya maka $Z_{2max} < Z_{2min}$, untuk selektifitas yang baik kita harus menggunakan persamaan Z_{2min} dengan waktu tunda (t_2) sebesar 0,8 S.

- c) Untuk keadaan dimana terdapat transformator daya, maka jangkauan *setting* zona-2 tidak boleh melebihi impedansi transformator dengan persamaan:

Persamaan 4 Menentukan impedansi trafo

$$Z_{TR} = 0.8(Z_{L1} + (k \times X_t)) \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

Z_{TR} = Impedansi Transformator (Ω)

k = bagian pada transformator yang dilindungi (0,5)

X_t = Reaktansi transformator (Ω)

- Menentukan Zona-3

Jangkauan dari zona-3 adalah mencakup 120% hingga 220% saluran dari GI Balongbendo dan GI Sekarputih, berikut ini persamaan untuk melakukan *setting* zona-3:

$$Z_{3min} = 1.2(Z_{L1} + (K \times Z_{L3})) \dots \dots \dots (5)$$

$$Z_{3max1} = 0.8 \times \{Z_{L1} + ((1.2 \times Z_{L3}) \times K)\} \dots \dots \dots (6)$$

$$Z_{3max2} = 0.8 \times \{Z_{L1} + (0.8 \times ((Z_{L3} + (0.8 \times Z_{L4})) \times K)\} \dots \dots \dots (7)$$

$$Z_{TR} = 0.8(Z_{L1} + (0.8 \times X_t)) \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

Z_{TR} = Impedansi Transformator (Ω)

Z_{3Min} = Impedansi zona-3 (Ω)

Z_{3Maks} = Impedansi zona-3 (Ω)

Z_{L3} = Impedansi saluran selanjutnya yang panjang (Ω)

Z_{L4} = Impedansi saluran selanjutnya yang terpendek dari bus terakhir (Ω)

2.2. Pengaturan Rele Arus Lebih

Rele arus lebih digunakan sebagai proteksi cadangan ketika rele jarak mengalami gagal fungsi kerja. Menurut standar IEC 255-3 secara matematis hubungan antara tundaan waktu kerja rele dengan besarnya arus masukan atau arus gangguan dinyatakan oleh persamaan berikut [5][6][1]:

$$t = \left[\frac{TMS \times \beta}{(I_f / I_{set})^{\alpha} - 1} \right] \dots \dots \dots (9)$$

$$TMS = \frac{\left(\frac{I_f}{I_{set}} \right)^{\alpha} - 1}{\beta} \times t \dots \dots \dots (10)$$

Keterangan:

t = tundaan waktu kerja rele (detik)

TMS = setelan skala pengali waktu (*Time Multiplier Setting*)

I_f = arus masukan ke rele (A)

I_{set} = nilai setelan arus lebih (A)

Konstanta – konstanta α dan β menentukan tingkat atau derajat inversitas dari tundaan waktu rele.

Tabel 1. konstanta α dan β

Tipe	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0.02	0.14
<i>Very Inverse</i>	1.0	13.5
<i>Extremely Inverse</i>	2.0	80.0

Dalam menentukan waktu tunda dapat digunakan persamaan 11

Persamaan 11 Menentukan tundaan waktu

$$t_2 = t_1 + CDT \dots\dots\dots (11)$$

Keterrangan:

t_1 = Tundaan waktu kerja rele 1 (detik)

t_2 = Tundaan waktu kerja rele 2 (detik)

CDT = *Coordination Delay Time* (≤ 0.4 detik)

Dalam menentukan setting arus lebih dapat digunakan persamaan 12

$$I_{\text{set(primer)}} = (110\% - 120\%) \times CCC / I_n CT \dots\dots\dots (12)$$

$$I_{\text{set(sekunder)}} = I_{\text{set(primer)}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan:

$I_{\text{set(primer)}}$ = Seting Arus Primer (Ampere)

CCC = Current Carrying Capacity atau Kemampuan hantar arus kawat penghantar (Ampere).

$I_n CT$ = I nominal CT (Ampere).

Selanjutnya, disimulasikan ke *Digsilent Power Factory 15.1* dengan memasukkan hasil perhitungan ke dalam rele jarak dan rele arus lebih. Simulasi sistem dengan cara memberi gangguan hubung singkat pada penghantar dan melihat rele bekerja dengan baik serta terkoordinasi.

3. HASIL DAN DISKUSI

Dari hasil observasi dan wawancara lapangan pada daerah penelitian yang bertempat di Gardu Induk 150 kV Balongbendo menuju ke arah Gardu Induk 150 kV Sekarputih dan arah sebaliknya, di dapat data saluran sebagai berikut:

Tabel 2. Data penghantar dan panjang saluran

SUTT 150 KV	TIPE KONDUKTOR	KAPASITAS ARUS (A)	PANJANG SALURAN (L) KM	IMPEDANSI SALURAN(Z) PER KM	
				POSITIF DAN NEGATIF	NOL
SEKARPUTIH - BALONGBENDO	OHL-150kV-ACSR-AW 2x340mm ²	1.480	12,21	0,04+0,26i	0,16+0,61i
SEKARPUTIH - NGORO	OHL-150kV-ACSR 330mm	740	21,78	0,08+0,38i	0,239+1,15i
SEKARPUTIH - NGORO	OHL-150kV-ACSR 330mm	740	21,78	0,08+0,38i	0,23+1,158i
SEKARPUTIH - KERTOSONO	OHL-150kV-TACSR 2X410mm	2,730	44,1	0,06+0,25i	0,21+0,77i
KERTOSONO - JAYAKERTAS	OHL-150kV-HAWK 2X281.1mm	1,160	1,2	0,06+0,20i	0,21+0,61i

Untuk rasio dari Transformator arus dan transformator tegangan didapatkan dari hasil wawancara didapatkan sebagai berikut:

Tabel 3. Data transformator arus dan tegangan

SUTT 150 KV	TRANSFORMATOR ARUS (A)	TRANSFORMATOR TEGANGAN (V)
SEKARPUTIH - BALONGBENDO	16000	154000
	5	110
BALONGBENDO - SEKARPUTIH	2000	154000
	5	110

Untuk data pembebanan diperlukan guna *setting* rele jarak dan rele arus lebih pada GI yang dipilih untuk penelitian dan GI pendukung lainnya, maka didapat data seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Data beban

GARDU INDUK	BEBAN	
	MW	Mvar
BALONGBENDO	172,71	51,61
SEKARPUTIH	133,42	54,37
NGORO	153,76	59,52
SURABAYA BARAT	67,41	21,15
KERTOSONO	41,53	10,81
JAYAKERTAS	22,85	6,36
MOJOAGUNG	59,81	14,73

Untuk data arus hubung singkat diperoleh dari simulasi hubung singkat *DigSILENT Power Factory 15.1* sebagai berikut:

Tabel 5. Arus hubung singkat

GARDU INDUK	ARUS HUBUNG SINGKAT (kA)	ARUS HUBUNG SINGKAT (A)
BALONGBENDO	26,43	26.435
SEKARPUTIH	19,24	19.242

3.1. Penyetelan rele jarak

Setelah dilakukan perhitungan dengan persamaan 1-8, maka dapat dilihat untuk hasil penyetelan rele jarak pada saluran GI Balongbendo - GI Sekarputih, terlihat pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil penyetelan rele jarak

LOKASI PROTEKSI	ZONA PROTEKSI	IMPEDANSI JANGKAUAN		WAKTU (s)
		PRIMER (Ω)	SEKUNDER (Ω)	
BALONGBENDO- SEKARPUTIH	ZONA 1	2,57	0,73	0
	ZONA 2	7,94	2,26	0,4
	ZONA 3	17,95	5,12	1,6
SEKARPUTIH- BALONGBENDO	ZONA 1	2,57	0,58	0
	ZONA 2	4,58	1,04	0,4
	ZONA 3	9,04	2,06	1,2

3.2. Penyetelan rele arus lebih

Setelah dilakukan perhitungan dengan persamaan 9-13, maka dapat dilihat untuk hasil penyetelan rele arus lebih untuk dimasukkan ke dalam *DigSilent Power Factory 15.1*.

Tabel 7. Hasil penyetelan rele arus lebih

LOKASI PROTEKSI	TMS	t (s)
BALONGBENDO-SEKARPUTIH	0,31	0,8
SEKARPUTIH- BALONGBENDO	0,28	0,8

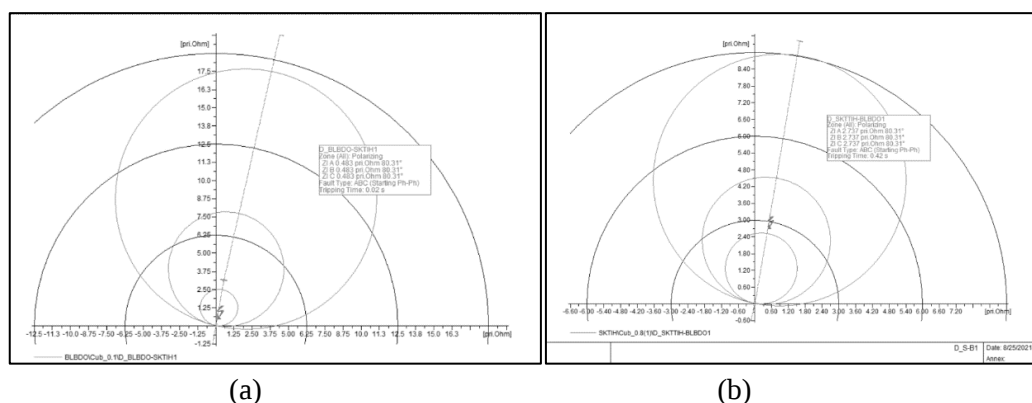
Setelah dilakukan pembuatan *single line diagram* pada aplikasi *DIgSILENT PowerFactory 15.1* dan perhitungan menggunakan persamaan 1-11 serta memasukkan ke dalam aplikasi *DIgSILENT Power Factory 15.1*, maka langkah selanjutnya adalah dengan memberi gangguan pada 15%, 50% dan 85% dari saluran transmisi Sekarputih arah Kertosono. Hasilnya didapatkan gambar R-X diagram rele jarak dan grafik arus lebih.

- 15% dari saluran GI Balongbendo-GI Sekarputih

Tabel 8. Rele yang bekerja gangguan 3 fasa Balongbendo-Sekarputih 15%

No.	Rele	Waktu (s)	Z (Ω)
1	D_BLBDO-SKTIH	0,02	0,483
2	D_SKTIH-BLBDO	0,42	2,737
3	OCR_BLBDO-SKTIH	0,88	-
4	OCR_SKTIH-BLBDO	1,46	-

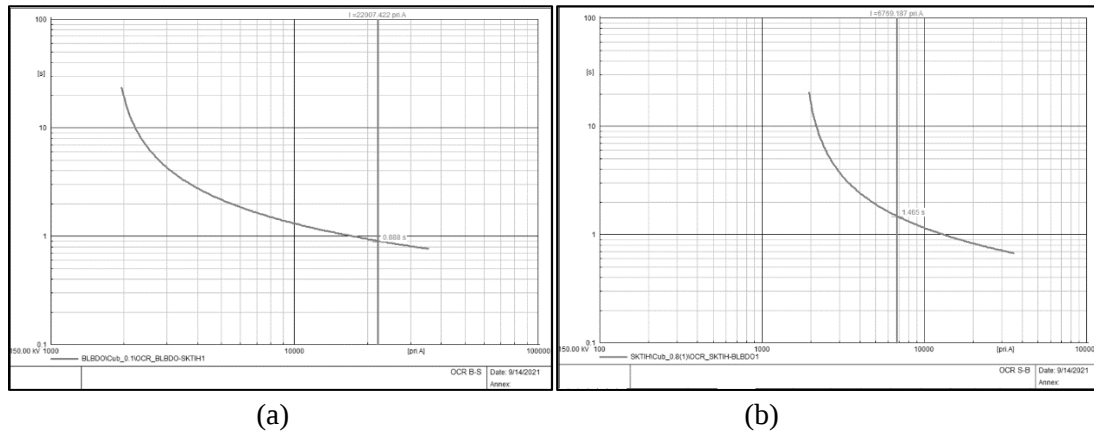
Pada tabel 8 dapat dilihat apabila gangguan 3 fasa terjadi pada 15% saluran, maka rele jarak yang bekerja lebih dahulu adalah rele jarak pada GI Balongbendo karena lokasi gangguan lebih dekat dengan GI Balongbendo dan akan memerintahkan PMT untuk memutus dengan waktu 0,02 detik. Kemudian pada rele jarak GI Sekarputih akan memerintahkan PMT putus pada waktu 0,42 detik karena rele jarak membaca pada daerah kerja zona 2. Rele arus lebih pada saat gangguan 15% saluran akan bekerja dengan waktu 0,88 detik pada GI Balongbendo dan 1,46 detik pada GI Sekarputih. Rele arus lebih disini sebagai rele cadangan pada saat rele jarak mengalami gagal fungsi kerja;



Gambar 4. R-X diagram daerah kerja rele jarak GI Balongbendo dan GI Sekarputih 15%

Gangguan 3 fasa terjadi pada jarak 1,8315 km dari 12,21 km (sekitar 15% dari panjang saluran transmisi) GI Balongbendo ke arah GI Sekarputih. Pada R-X diagram daerah kerja gangguan yang

terjadi pada lingkaran pertama berada pada lingkup zona 1 dan lingkaran kedua pada lingkup zona 2. Impedansi yang terukur pada GI Balongbendo sebesar $0,48\Omega$ dari *setting* rele jarak zona 1 sebesar $2,57\Omega$. Zona 1 rele jarak membaca pada waktu 0,02 detik yang ditunjukkan pada gambar 4 (a). Pada gambar 4 (b) rele jarak dari GI Sekarputih membaca impedansi sebesar $2,73\Omega$ dari *setting* zona 2 sebesar $4,58\Omega$ dengan waktu kerja 0,42 detik. Rele jarak yang bekerja terlebih dahulu adalah rele jarak pada GI Balongbendo, apabila rele jarak mengalami gagal fungsi kerja langsung di *backup* dengan cadangan pengaman yaitu rele arus lebih.



Gambar 5. Waktu kerja rele arus lebih GI Balongbendo dan GI Sekarputih 15%

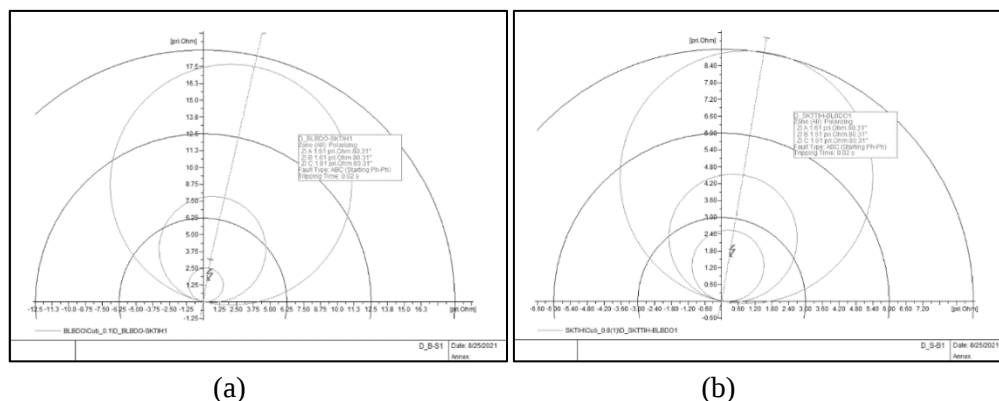
Rele arus lebih yang digunakan adalah rele arus lebih tipe *standard inverse* dan disetting agar tundaan waktu *trip* 0,8 detik, sehingga jika semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi semakin cepat. Bentuk kurvanya dapat dilihat pada gambar 5 (a) arus hubung singkat yang terbaca 22 kA dengan waktu yang terbaca adalah 0,88 detik. Pada gambar 5 (b) arus hubung singkat yang terbaca 6,8 kA dengan waktu yang terbaca adalah 1,46 detik.

- 50% dari saluran GI Balongbendo-GI Sekarputih

Tabel 9. Rele yang bekerja gangguan 3 fasa Balongbendo-Sekarputih 50%

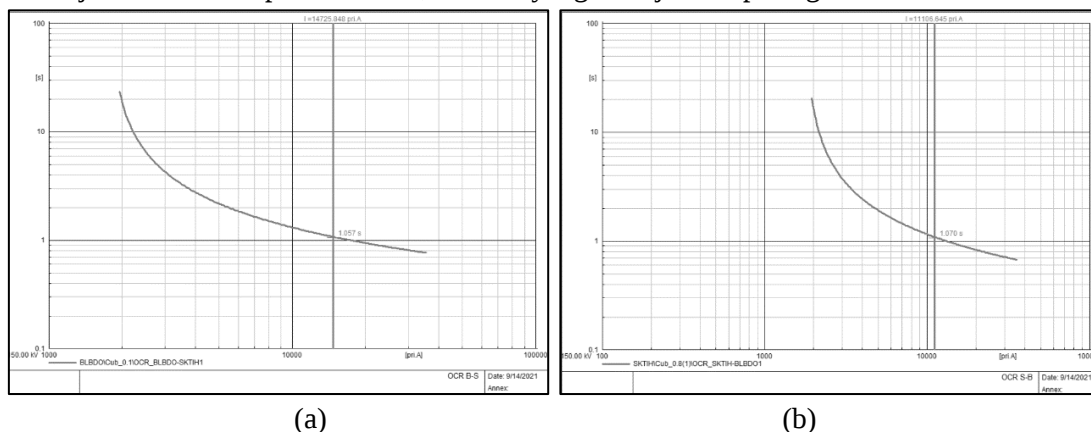
No.	Rele	Waktu (s)	Z (Ω)
1	D_BLBDO-SKTIH	0,02	1,61
2	D_SKTIH-BLBDO	0,02	1,61
3	OCR_BLBDO-SKTIH	1,05	-
4	OCR_SKTIH-BLBDO	1,07	-

Pada tabel 9 dapat dilihat apabila gangguan 3 fasa terjadi pada 50% saluran, maka rele jarak keduanya GI Balongbendo dan GI Sekarputih dan akan memerintahkan PMT untuk memutus dengan waktu 0,02 detik. Kedua rele jarak mendeteksi pada daerah kerja zona 1. Rele arus lebih pada saat gangguan 50% saluran akan bekerja dengan waktu 1,05 detik pada GI balongbendo dan 1,07 detik pada GI Sekarputih.



Gambar 6. R-X diagram daerah kerja rele jarak GI Balongbendo dan GI Sekarputih 50%

Gangguan 3 fasa terjadi pada jarak 6,105 km dari 12,21 km (sekitar 50% dari panjang saluran transmisi) GI Balongbendo ke arah GI Sekarputih. Pada R-X diagram daerah kerja gangguan yang terjadi pada lingkaran pertama berada pada lingkup zona 1. Impedansi yang terukur pada rele jarak GI Balongbendo dan GI Sekarputih sebesar $1,61\Omega$ dari *setting* rele jarak zona 1 sebesar $2,57\Omega$. Zona 1 rele jarak membaca pada waktu 0,02 detik yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 7. Waktu kerja rele arus lebih GI Balongbendo dan GI Sekarputih 50%

Rele arus lebih yang digunakan adalah rele arus lebih tipe *standard inverse* dan disetting agar tundaan waktu *trip* 0,8 detik, sehingga jika semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi semakin cepat. Bentuk kurvanya dapat dilihat pada gambar 7 (a) arus hubung singkat yang terbaca 14 kA dengan waktu yang terbaca adalah 1,05 detik. Pada gambar 7 (b) arus hubung singkat yang terbaca 11 kA dengan waktu yang terbaca adalah 1,07 detik

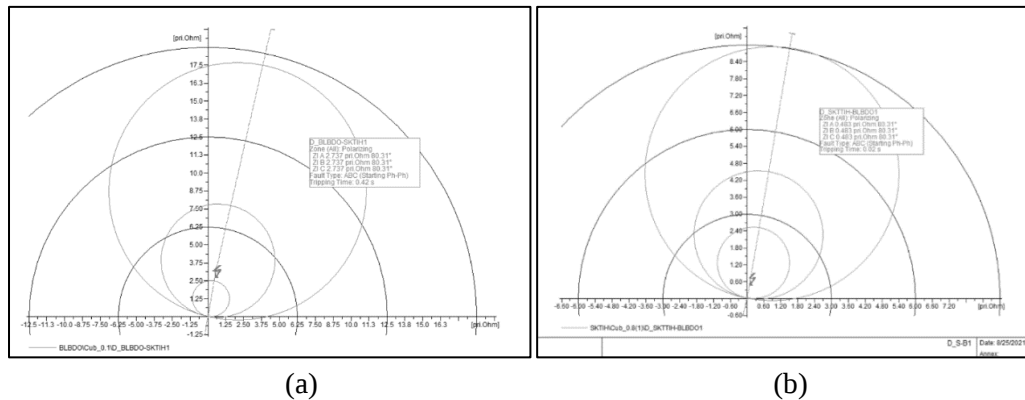
- 85% dari saluran GI Balongbendo-GI Sekarputih

Tabel 10. Rele yang bekerja gangguan 3 fasa Balongbendo-Sekarputih 85%

No.	Rele	Waktu (s)	Z (Ω)
1	D_BLBDO-SKTH1	0,42	0,483
2	D_SKTH1-BLBDO	0,02	2,737
3	OCR_BLBDO-SKTH1	1,30	-
4	OCR_SKTH1-BLBDO	0.88	-

Pada tabel 10 dapat dilihat apabila gangguan 3 fasa terjadi pada 85% saluran, maka rele jarak yang bekerja lebih dahulu adalah rele jarak pada GI Sekarputih karena lokasi gangguan lebih dekat

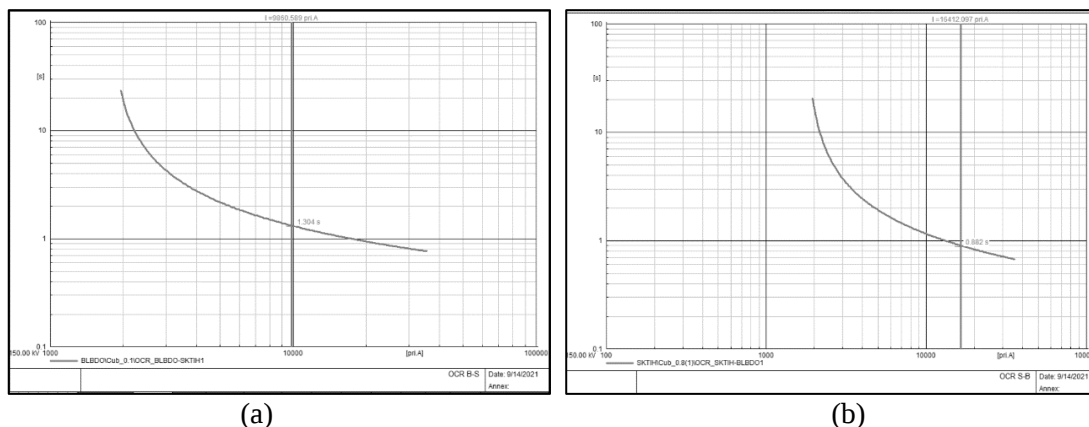
dengan GI Sekarputih dan akan memerintahkan PMT untuk memutus dengan waktu 0,02 detik. Kemudian pada rele jarak GI Balongbendo akan memerintahkan PMT putus pada waktu 0,42 detik karena rele jarak membaca pada daerah kerja zona 2. Rele arus lebih pada saat gangguan 85% saluran akan bekerja dengan waktu 1,30 detik pada GI Balongbendo dan 0,88 detik pada GI Sekarputih.



Gambar 8. R-X diagram daerah kerja rele jarak GI Balongbendo dan GI Sekarputih 85%

Gangguan 3 fasa terjadi pada jarak 10,3785 km dari 12,21 km (sekitar 85% dari panjang saluran transmisi) GI Balongbendo ke arah GI Sekarputih. Pada R-X diagram daerah kerja gangguan yang terjadi pada lingkaran pertama berada pada lingkup zona 1 dan lingkaran kedua pada lingkup zona 2. Impedansi yang terukur pada GI Balongbendo sebesar $0,48\Omega$ dari *setting* rele jarak zona 1 sebesar $2,57\Omega$. Zona 1 rele jarak membaca pada waktu 0,02 detik yang ditunjukkan pada gambar 4

(a). Pada gambar 4 (b) rele jarak dari GI Sekarputih membaca impedansi sebesar $2,7\Omega$ dari *setting* zona 2 sebesar $4,58\Omega$ dengan waktu kerja 0,42 detik.



Gambar 9. Waktu kerja rele arus lebih GI Balongbendo dan GI Sekarputih 85%

Rele arus lebih yang digunakan adalah rele arus lebih tipe standard inverse dan disetting agar tundaan waktu trip 0,8 detik, sehingga jika semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi semakin cepat. Bentuk kurvanya dapat dilihat pada gambar 9 (a) arus hubung singkat yang terbaca 9 kA dengan waktu yang terbaca adalah 1,30 detik. Pada gambar 9 (b) arus hubung singkat yang terbaca 16 kA dengan waktu yang terbaca adalah 0,88 detik.

4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan hasil simulasi untuk melihat koordinasi dari setiap rele jarak dan rele arus lebih pada GI Balongbendo dan GI sekarputih secara 2 arah menggunakan aplikasi *DigSilent Power Factory 15.1*. Dari hasil simulasi didapatkan rele jarak pada GI Balongbendo akan trip pada detik ke 0,02, 0,02, dan 0,42 untuk gangguan 3 fasa pada jarak 15%, 50% dan 85%. Sedangkan rele arus lebih akan trip pada detik ke 0,88, 1,05 dan 1,30. Untuk hasil simulasi didapatkan rele jarak pada GI Sekarputih akan trip pada detik ke 0,42, 0,02, dan 0,02. Sedangkan rele arus lebih akan trip pada detik ke 1,46, 1,07 dan 0,88. Koordinasi pada rele jarak GI Balongbendo-GI Sekarputih tidak mengalami *overlapping*, dimana rele jarak sudah bekerja sesuai dengan waktu kerja ketika diberi gangguan dan membaca sesuai dengan daerah kerja masing-masing. Koordinasi antara rele jarak dan rele arus lebih sudah baik karena kerja dari rele arus lebih tidak mendahului kerja rele jarak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Firdaus, H. Purnomo, and T. Utomo, "Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih dan Penutup Balik Otomatis (Recloser) pada Penyulang Junrejo 20 kV Gardu Induk Sengkaling Akibat Gangguan Arus Hubung Singkat SINGKAT," Univ. Brawijaya, p. 8, 2015.
- [2] H. Dini and N. Hariyanto, "Studi Perancangan Skema Pulau Berdasarkan Koherensi Generator Pada Sistem Kelistrikan Dki Jakarta Dan Banten," *Sutet*, vol. 8 no 2, no. 2, pp. 72–82, 2018.
- [3] A. W. Hasanah, A. Makkulau, Z. F. Fadhilah, T. Elektro, S. Tinggi Teknik-Pln, and A. Com, "Perencanaan Pengembangan Sistem Pembangkit Listrik Di Pulau Jawa," *J. Sutet*, vol. 5, no. 1, pp. 8–13, 2015, [Online]. Available: <https://stt-pln.e-journal.id/sutet/article/view/604>.
- [4] H. S. Dini and R. S. Putra, "AUTOMATION AND MOBILE PHONE BASED-MONITORING OF HYDROPONIC," vol. 5, no. 1, pp. 1–5, 2021.
- [5] Z. Syamsudin, I. Pujotomo, and F. Ramadhan, "KAJIAN RELE JARAK DAN ARUS LEBIH PADA SADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI GARDU INDUK 150kV SRONDOL," *J. Sutet*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2015, [Online]. Available: <https://stt-pln.e-journal.id/sutet/article/view/603>.
- [6] E. Pafela and E. Hamdani, "Studi Penyetelan Relay Arus Lebih (OCR) Pada Gardu Induk Teluk Lembu Pekanbaru," *J. Online Mhs. Fak. Tek. Univ. Riau*, vol. 4, no. 1, pp. 1–17, 2016.
- [7] C. N. H. Tobing, "Rele Jarak Sebagai Proteksi Saluran Transmisi," pp. 1–10, 2008.
- [8] C. Sriram and Y. Kusumalatha, "Three zone detection and distance relay co-ordination of power system protection," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 11, no. 2, pp. 919–928, 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i2.pp919-928.
- [9] S. Muhammad, "STUDI KEANDALAN DISTANCE RELAY JARINGAN 150 kV GI TELLO - GI PARE-PARE A," *Elektro*, vol. 8, no. Relay, pp. 1–8, 2010.
- [10] T. Wijaksono, S. Handoko, and Hermawan, "Analisis Setting Dan Koordinasi Rele Jarak Dan Rele Arus Lebih Pada Gi 150Kv Cilegon Baru-Serang-Cikande Dan Arah Sebaliknya," *Transient J. Ilm.*, vol. 7, p. 9, 2018.
- [11] N. 605. k/DIR/201. PT. PLN (Persero), "Pedoman Trafo Arus," *Trafo Arus*, no. 0520–2.K/DIR, pp. 1–4, 2010.
- [12] N. 605. k/DIR/201. PT. PLN (Persero), "Pedoman Trafo Tenaga," *Trafo Tenaga*, pp. i–142, 2010.
- [13] N. 605. k/DIR/201. PT. PLN (Persero), "Pedoman Pemutus Tenaga," Jakarta, no. 0520–2.K/DIR, 2014.
- [14] Karyana, "Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali Edisi Pertama : September 2013," no. September, 2013.

- [15] Di. GmbH, “DigSILENT Power Factory 15. User Manual,” p. 1464, 2014.